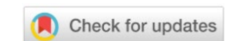
ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
TECHNOSPHERE SAFETY

УДК 519.6:616-036.2
https://doi.org/10.23947/2541-9129-2024-8-3-57-66

Оригинальное эмпирическое исследование

Уточнение прогноза заболеваемости COVID-19 с наложением на сезонные вспышки гриппа


EDN: PTULTJ

Н.Н. Азимова, Д.Х. Заирова ✉, А.С. Ермаков, Е.Н. Ладоша
Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация
✉ gulyazair@gmail.com

Аннотация
Введение. Появление новых трансмиссивных заболеваний требует разработки соответствующих лечебных регламентов, мер предупреждения болезни, схем реабилитации и т. д. Важнейшим элементом всех обозначенных выше мероприятий является своевременность, которая невозможна без надёжного прогнозирования эпидемической обстановки. Фактически эпидемическая ситуация может обостриться при наложении двух эпидемий, что актуализует прогнозирование соответствующих временных интервалов. Цель данной работы — научно обоснованное предсказание периодов, отвечающих наложению эпидемий традиционного гриппа и вновь появившегося COVID-19.
Материалы и методы. Научные изыскания основываются на анализе статистических данных. Для изучения и прогнозирования процессов использованы техники Фурье-разложения и авторегрессии. Скорректирована оригинальная математическая модель динамики COVID-19 с учетом новых статистических данных. Сопоставлены результирующие масштабно-временные и случайные характеристики COVID-19 в рамках модели с известными параметрами традиционного гриппа.
Результаты исследования. Установлено, что динамика эпидемии COVID-19 имеет ярко выраженный сезонный характер с периодичностью три раза в год. Выявлено, что алгоритм прогноза заболеваемости COVID-19 методом Фурье-разложения не является надежным, однако позволяет хорошо описать наблюдаемую динамику развития эпидемии. Авторегрессионный анализ подходит лишь для краткосрочного прогнозирования коронавирусной эпидемии. Сопоставлены особенности течения двух заболеваний сезонного характера — COVID-19 и гриппа. Спрогнозированы моменты, когда их совместное действие на человека окажется особенно пагубным.
Обсуждение и заключения. Все методы математического анализа убедительно доказали, что периодичность вспышек COVID-19 — трижды в год, а гриппа — ежегодно. В периоды, когда действия двух вирусов (коронавируса и гриппа) накладываются, следует быть особо осторожными и соблюдать меры, направленные на снижение риска заболеть сезонной вирусной инфекцией, в том числе проводить регулярную вакцинацию.

Ключевые слова: эпидемия, пандемия, COVID-19, эпидемиологические характеристики вируса, противодействие распространению COVID-19, математическая модель эпидемического процесса, омикрон

Благодарности. Авторы выражают особую благодарность консультанту научного проекта О.В. Яценко, доценту, кандидату физико-математических наук, который внес немаловажный вклад в сопоставление характеристик вирусов гриппа и COVID-19 и дал ценные замечания при оформлении данной работы.

Для цитирования. Азимова Н.Н., Заирова Д.Х., Ермаков А.С., Ладоша Е.Н. Уточнение прогноза заболеваемости COVID-19 с наложением на сезонные вспышки гриппа. *Безопасность техногенных и природных систем.* 2024;8(3):57–66. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2024-8-3-57-66

Техносферная безопасность

Original Empirical Research

Update of the COVID-19 Incidence Forecast with the Overlap of Seasonal Flu Outbreaks

Natalya N. Azimova, Dzhakhangul Kh. Zairova, Aleksandr S. Ermakov, Evgenii N. Ladosha
Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation
gulyazair@gmail.com

Abstract

Introduction. The emergence of new vector-borne diseases necessitates the development of adequate medical regulations, prevention measures, rehabilitation programs, etc. Among all these measures, timeliness is the most crucial element, which cannot be achieved without reliable forecasting of the epidemic situation. In fact, the situation can deteriorate when two epidemics occur simultaneously, emphasizing the need for predicting the corresponding time intervals accurately. The aim of this study is to scientifically predict the periods when traditional influenza and COVID-19 epidemics may overlap.

Materials and Methods. The scientific research was based on the analysis of statistical data, which was processed using Fourier decomposition and autoregression techniques to study and predict various processes. The original mathematical model of COVID-19 dynamics was adjusted with new statistical data. The resulting scale-time and random characteristics of COVID-19 within the model were compared with known parameters of traditional influenza.

Results. It was established that the dynamics of the COVID-19 epidemic had a pronounced seasonal character with a frequency of three times a year. It was found that the method of forecasting COVID-19 incidence using Fourier decomposition was not reliable, but it allowed for a good description of the observed dynamics of the epidemic. Autoregressive analysis, on the other hand, was only suitable for short-term forecasting of coronavirus epidemics. The features of the two seasonal diseases, COVID-19 and influenza, have been compared, and the moments when their combined effects on a person would be particularly harmful have been predicted.

Discussion and Conclusion. All methods of mathematical analysis have convincingly demonstrated that the frequency of COVID-19 outbreaks occurs three times per year, while influenza occurs annually. During times when the activities of both viruses (coronavirus and influenza) coincide, special attention should be paid and measures taken to reduce the risk of contracting a seasonal viral infection, including through regular vaccination.

Keywords: epidemic, pandemic, COVID-19, epidemiological characteristics of the virus, counteracting the spread of COVID-19, mathematical model of epidemic process, omicron

Acknowledgements. The authors would like to express their special gratitude to Associate Professor, Cand. Sci. (Phys.-Math.) O.V. Yatsenko, who made an important contribution to the comparison of the characteristics of influenza and COVID-19 viruses. His comments were essential in the design and development of this research.

For citation. Azimova NN, Zairova DKh, Ermakov AS, Ladosha EN. Update of the COVID-19 Incidence Forecast with the Overlap of Seasonal Flu Outbreaks. *Safety of Technogenic and Natural Systems.* 2024;8(3):57–66. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2024-8-3-57-66

Введение. Пагубное воздействие эпидемий на человека и его жизнедеятельность в целом пытаются предотвращать постоянно совершенствуемыми комплексами предупредительных мер. Элементы этих комплексов нацелены на разрыв цепочек распространения заболевания, уменьшение его тяжести и снижение риска заражения. Особенно тщательно все эти элементы проработаны для сезонных вирусных заболеваний, в частности, ОРВИ и гриппа. Появление новых трансмиссивных заболеваний требует разработки соответствующих комплексов (лечебных регламентов, мер предупреждения заболеваемости, схем реабилитации, лекарственных средств, специализированных лечебных учреждений и т. д.). Наглядным примером здесь служит недавняя пандемия COVID-19 и соответствующая реакция на неё мировых правительств и системы здравоохранения [1]. Важнейшим элементом всех обозначенных выше мероприятий является своевременность, которая невозможна без надёжного прогнозирования эпидемической обстановки.

Цель данной работы в связи с этим — определение периодов наложения эпидемий традиционного гриппа и вновь появившегося COVID-19. Это позволит подготовиться к ним, минимизировать остроту заболеваний и их последствия.

Материалы и методы. Появление новых эпидемических данных за период с 23.09.2021 по 03.03.2023 требует кардинального пересмотра предполагаемого ранее сценария развития заболевания. В частности, бывший сценарий предполагал, что пандемия останется с человечеством навсегда, характеризуясь средним уровнем заболевших в 600 тыс. чел. в сутки при колебаниях с частотой три раза в год и амплитудой 300 тыс. чел. Этот результат соответствовал так называемому пессимистичному сценарию. Но появление новых штаммов обеспечило взаимную при-

способленность вируса и человека, что направило динамику COVID-19 в оптимистичное русло. Данное обстоятельство требует корректировки математической модели для правильного предсказания времени и масштаба вспышек заболевания [2, 3]. В рамках такой корректировки предстоит решить следующие задачи:

1. уточнить результаты параметрической идентификации внешней модели по новым фактическим данным [4];
2. оценить влияние регулярной составляющей и случайных факторов на динамику пандемии;
3. составить прогноз эпидемической ситуации как на основе регулярно-стохастической (скорректированной по новым данным) модели, так и по новыми алгоритмам — Фурье-анализом и авторегрессией;
4. сопоставить результирующие масштабно-временные и случайные характеристики COVID-19 в рамках модели с известными параметрами традиционного гриппа.

В качестве шаблонной функции, описывающей динамику COVID-19, принимаем

$$\Phi(t,A,B,C,D,E,F,\alpha,\beta,\gamma,\delta,\varepsilon)=\frac{A\left[\alpha+cos(\beta t+\gamma)\right]}{ch^2(Bt+C)}+D\left[1+th(Et+F)\right]\left(\delta+cos(\delta t+\varepsilon)\right). \quad (1)$$

Первое слагаемое этой функции отвечает высокому одиночному пику, вызванному штаммом омикрон. Второе слагаемое — сценарию логистического выхода заболеваемости на некоторый средний уровень в 500 тыс. чел. при колебаниях вокруг этого значения с частотой β/(2π). Входящие в уравнение (1) параметры имеют очевидный смысл продолжительности, частоты, амплитуды и начальной фазы отдельных мод заболевания.

Для отыскания всех параметров модели (1) по уточненным данным ВОЗ за период с 01.04.2022 по 03.03.2023 решалась существенно нелинейная задача математического программирования:

$$ЦФ=\Sigma_i\left(lg\,\Phi(t_i,A,B,C,D,E,F,\alpha,\beta,\gamma,\delta,\varepsilon)-lg\,\Phi_i\right)^2\to min. \quad (2)$$

Результаты параметрической идентификации (1) приведены в таблице 1 и на рис. 1.

Таблица 1

Числовые характеристики шаблонной модели заболеваемости COVID-19

A	B	C	D	E	F	α	β	γ	δ	ε	ЦФ
4381,458	0,036	–25,085	58,159	0,009	–1,280	1,233	0,043	–1,827	4,346	1,767	23,640

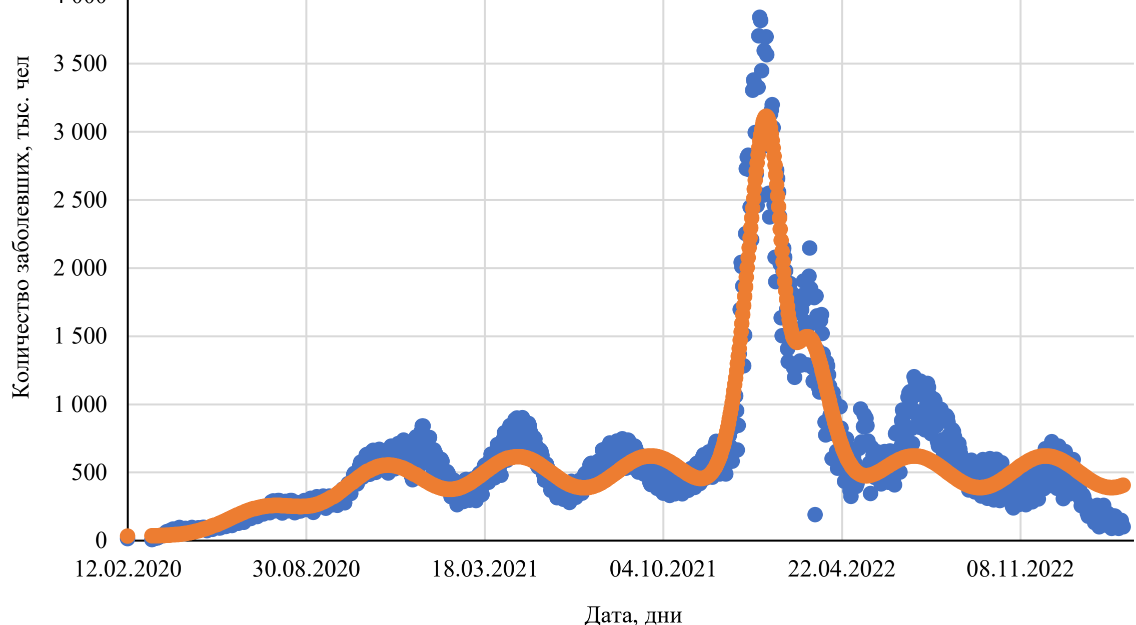


Рис. 1. Результаты вычислений количества заболевших по датам

В соответствии с проведенными вычислениями формула (1) принимает вид:

$$\Phi(t)=\left(\frac{4\,381{,}458\left[1{,}233+cos(0{,}043t-1{,}827)\right]}{ch^2 0{,}036t-25{,}085}\right)58{,}159\left[1+th(0{,}009t-1{,}280)\right]\left(4{,}346+cos(0{,}043t+1{,}767)\right). \quad (3)$$

Период колебаний составил 147 дней против 120–125 в предыдущей версии модели [2]. Однако такое увеличение представляется артефактом (рис. 1) и является результатом сбоя фазы заболеваемости при вспышке омикрона. Величина (γ – ε) характеризует сдвиг фазы между заболеваемостью традиционным COVID-19 и омикрон-модификацией.

Исключение из данных тренда и колебательной составляющей не позволило получить чисто шумовой фон (рис. 2) [5]. Это объясняется наличием в действительности некоторого нелинейного взаимодействия, которое не укладывается в рамки модели (3).

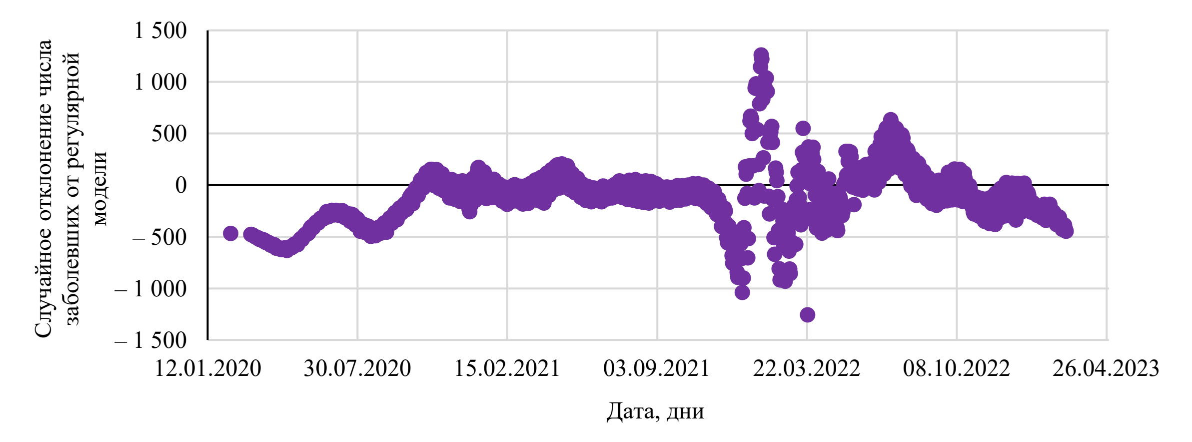


Рис. 2. Погрешность аппроксимации данных ВОЗ моделью (3)

Невозможность аккуратно описать динамику COVID-19 11-параметрической функцией (1) побуждает применить для этой цели альтернативные подходы.

Результат представления наблюдаемой динамики эпидемии при помощи Фурье-разложения, включающего 40 и 100 гармоник, показан на рис. 3.

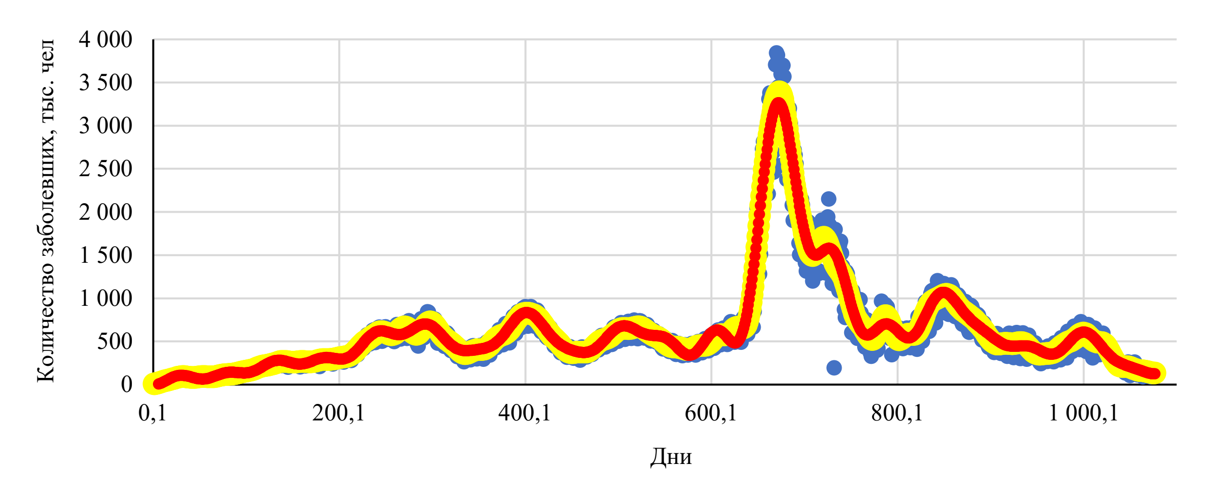


Рис. 3. Исходная динамика эпидемии и ее Фурье-аппроксимация. Голубым цветом изображены исходные данные, желтым — Фурье-разложение на 100 гармоник, красным — Фурье-разложение на 40 гармоник

Сопоставление данных рис. 1 и рис. 3 свидетельствует, что учет большего числа мод позволяет лучше описать реальную динамику эпидемии. Сказанное подтверждается как медленным убыванием коэффициентов a_i в разложении (рис. 4), так и более дисперсным характером оставшейся случайной составляющей (рис. 5).

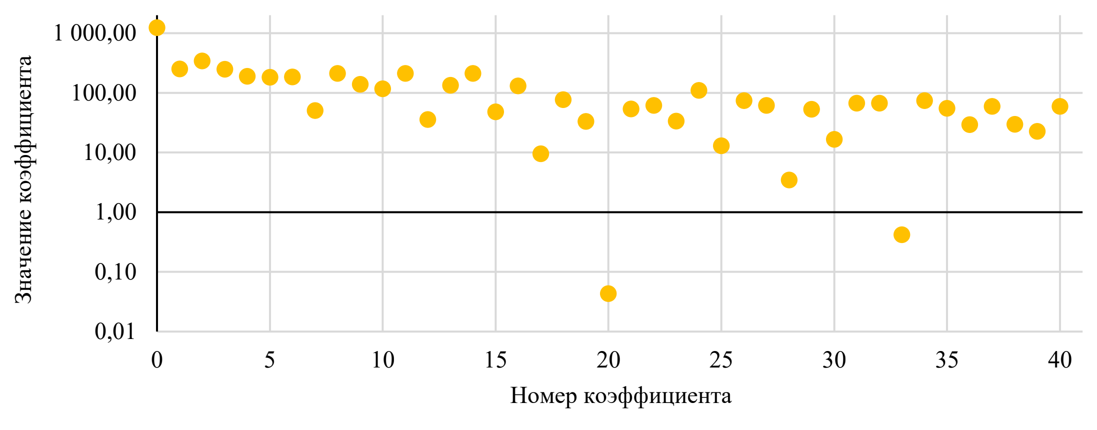


Рис. 4. Изменение коэффициентов разложения a_i по мере возрастания номера

Величина отклонения, усл. ед.

Количество дней

а)

Величина отклонения, усл. ед

Количество дней

б)

Рис. 5. Результат отсева Фурье-образа из исходных данных:
а — Фурье-разложение на 40 гармоник; *б* — Фурье-разложение на 100 гармоник

В соответствии с данными рис. 5 остаточный относительный шум носит случайный характер. Практически знание коэффициентов Фурье-разложения a_i [6] позволяет синтезировать регулярно-случайную функцию для прогнозирования [7]. Чтобы результат выглядел прозрачней, в прогнозной линии (на рис. 6 — коричневый цвет) оставляется лишь тренд и результат сопоставляется с новыми статистическими данными [8]. Сопоставление говорит о том, что предложенный алгоритм не обеспечивает долгосрочного прогноза [9].

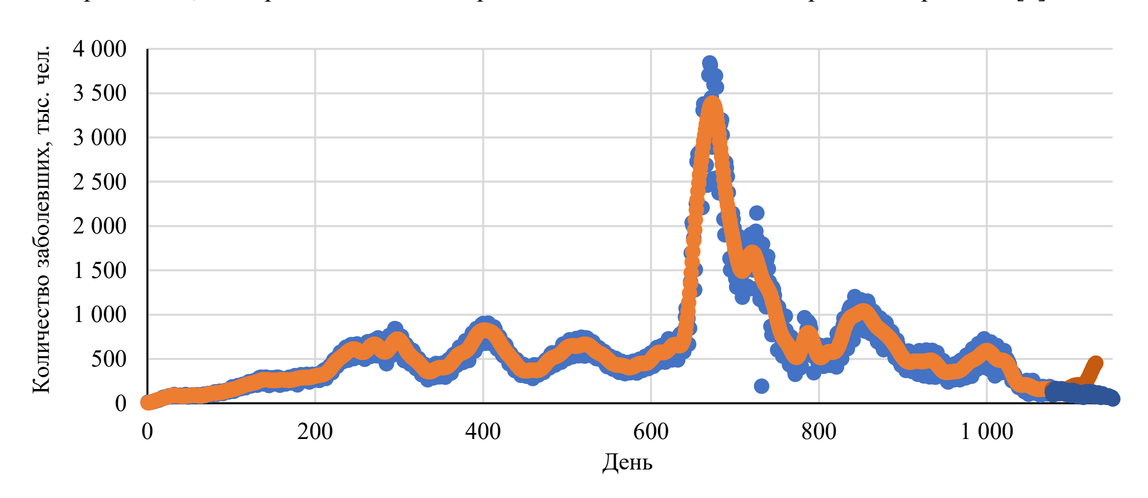


Рис. 6. Прогноз эпидемической обстановки на основе Фурье-разложения в сопоставлении с новыми данными ВОЗ.
Оранжевым цветом обозначается модель, основанная на Фурье-разложении временного ряда;
коричневым — прогнозируемое развитие коронавируса; голубым — исходные данные;
синими — сопоставляемые прогнозируемым значениям реальные данные

В этой связи исследована возможность повышения качества прогнозирования на основе авторегрессионного подхода. Процедура авторегрессии регламентируется следующим алгоритмом:

1) инициализация исходных данных;

2) в зависимости от характеристик временного ряда и требований прогноза выбирается подходящая модель;

3) обучение модели на обучающей выборке;

4) валидация модели (проверка качества прогноза на тестовой выборке);

5) прогнозирование.

Спрогнозирована динамика эпидемии с 04.03.2023 до настоящего времени с сопоставлением результата с актуальными данными ВОЗ [6–8]. Результат сопоставления приведен на рис. 7. Видно, что техника авторегрессии также пригодна лишь как инструмент краткосрочных прогнозов.

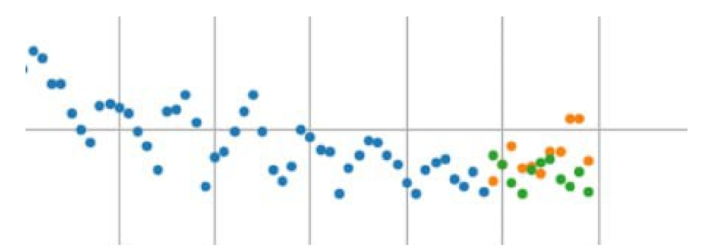


Рис. 7. Прогноз эпидемической обстановки на основе метода авторегрессии в сопоставлении с новыми данными ВОЗ. Голубыми точками обозначены исходные данные; оранжевыми — спрогнозированные значения; зелеными — сопоставляемые прогнозируемым значениям реальные данные

Ввиду того, что COVID-19 быстро эволюционировал в сезонное вирусное заболевание, интересно сопоставить его эпидемические характеристики с таковыми для гриппа, а также проанализировать совместное воздействие двух вирулентных заболеваний на человеческую популяцию.

Для успешного сопоставления характеристик эпидемий COVID-19 и гриппа были использованы статистические данные по заболеваемости гриппом в мировом масштабе с 03.01.2000 по 20.03.2023, которые представлены на ресурсе[1] и изображены на рис. 8.

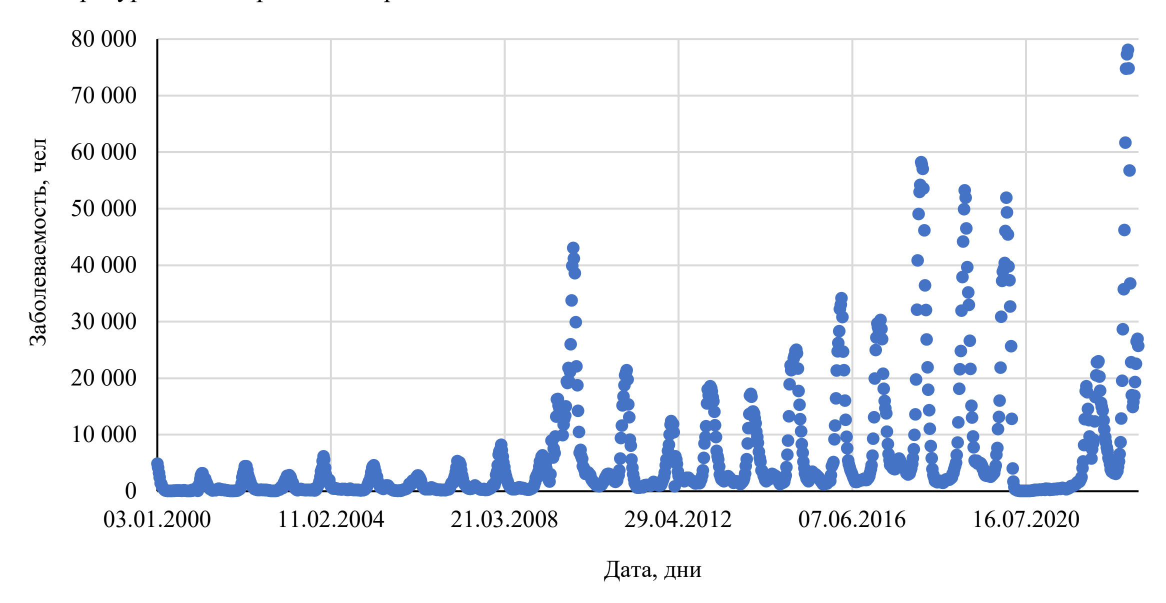


Рис. 8. Фактические данные по заболеваемости гриппом согласно данным ВОЗ

В качестве модели тренда для эпидемии гриппа использована логистическая зависимость [10] (рис. 9):

$$N(t) = \frac{\mu \cdot e^{\eta(t-\chi)}}{1 + e^{\eta(t-\chi)}}. \qquad (4)$$

Инициализация модели методами математического программирования дает следующие значения параметров: μ = 6 847 тыс. чел/день (предельный средний уровень заболеваемости гриппом); η = 0,29 год$^{-1}$ (темп увеличения охвата заболевших мировой системой контроля заболеваемости); χ = 2 013,9 год (момент половинного охвата заболевших системой учета). В рамках этой трендовой модели заболеваемость гриппом выходит на историческое плато, а ее регистрируемый рост связан исключительно с информатизацией в здравоохранении.

[1] Influenza lab. surveillance information Virus detections by subtype reported to FLUNET. Sci. Rept. URL: https://goo.su/z4uULuF (дата обращения: 25.05.2024).

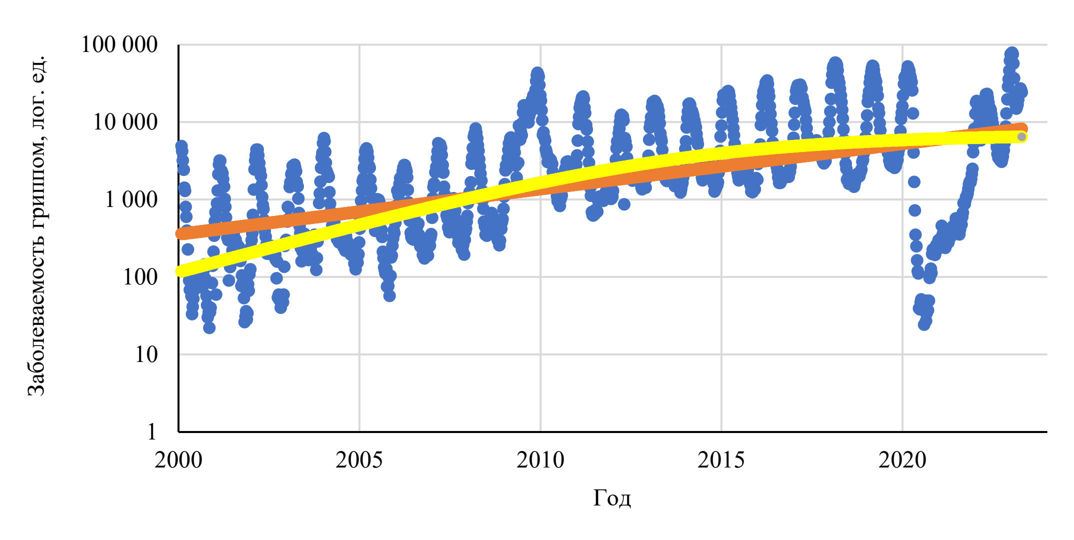


Рис. 9. Инициализация тренда заболеваемости гриппом. Голубым цветом представлена заболеваемость гриппом на логарифмической шкале; оранжевая линия отображает предположенный экспоненциальный тренд; желтая — модель тренда (4)

Знание тренда позволяет исключить его из наблюдаемой статистики и тем самым выделить колебательную составляющую:

$$P(t) = A \cdot sin^6(Bt + \varphi). \tag{5}$$

Выбранная здесь равной 6 степень синуса отвечает за «размытость» вспышки заболевания во времени. Для нахождения коэффициентов модели следует решить оптимизационную задачу

$$\Sigma_i (F_i - P_i)^2 \to min, \tag{6}$$

где F_i — заболеваемость; P_i — модельное значение; $i \in [1,1212]$.

Результаты соответствующих вычислений показаны на рис. 10 и даются формулой:

$$P(t) = 5{,}03 \cdot sin^6(3{,}2 \cdot t - 0{,}29). \tag{7}$$

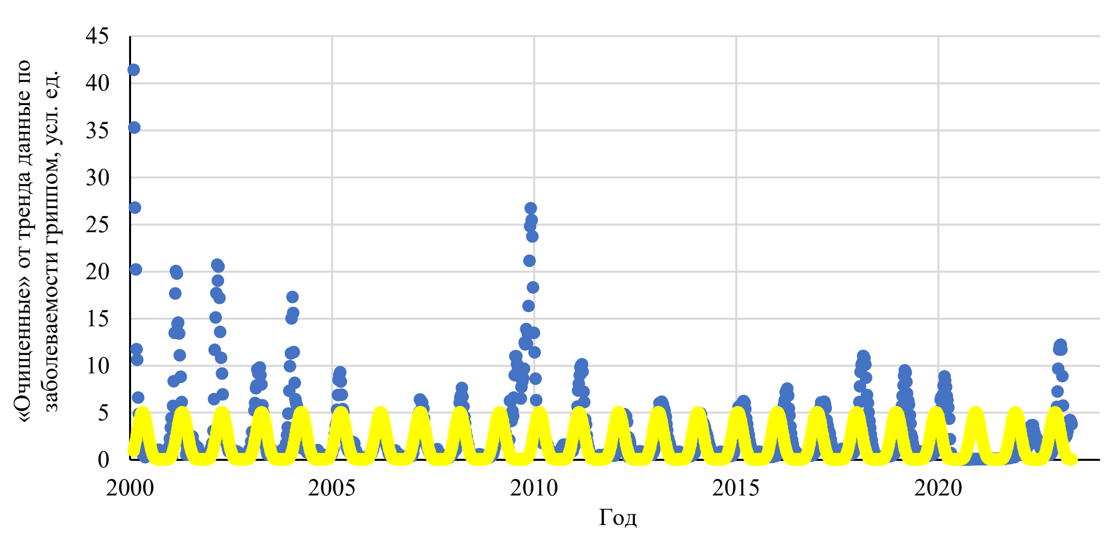


Рис. 10. Результат решения оптимизационной задачи для усовершенствованного тренда. Голубым цветом изображены очищенные от тренда исходные данные; желтым — кривая, соответствующая случайной составляющей

Представленные данные свидетельствуют, что эпидемия гриппа является устоявшимся сезонным процессом, который характеризуется периодом в один год [11, 12]. Из этого следует, что в зависимости от соотношения начальных фаз эпидемий реализуются периоды наложения пиков заболеваемости. Для расчета соответствующих моментов представлена динамика заболеваемости гриппом и COVID-19 в параметрическом виде согласно результатам работы [2]:

$$G(t) = 5{,}03 \cdot sin^6\left(3{,}15 \cdot \left(2\,022{,}48 + \frac{t}{365}\right) - 0{,}18\right) \text{ — для гриппа;} \tag{8}$$

$$K(t) = 1 + 0{,}2 \cdot sin\left(0{,}043 \cdot t - \frac{\pi}{2}\right) \text{ — для COVID-19.} \tag{9}$$

В формулах (8, 9) время t отсчитывается с момента t_0 = {03.01.2000 г.} в единицах измерения одни сутки. Стандартное представление этих данных на рис. 11 не информативно, что побуждает преобразовать их в параметрический вид (рис. 12).

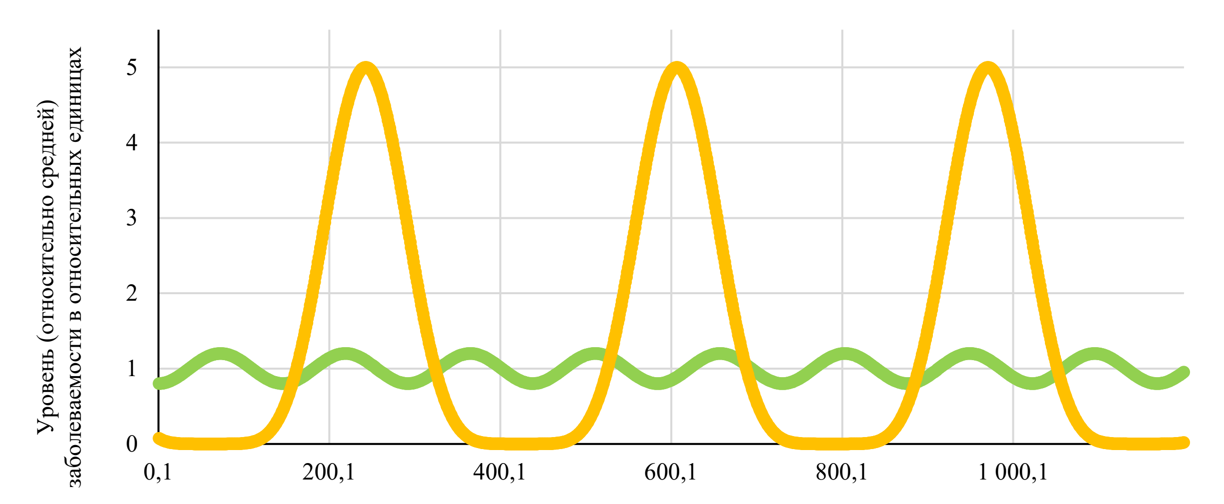


Рис. 11. Сопоставление динамики заболеваемости COVID-19 и гриппа в относительных единицах. Зеленым цветом изображена кривая, соответствующая заболеваемости COVID-19, оранжевым — заболеваемости гриппом

Поскольку все методы математического анализа убедительно доказали, что периодичность вспышек COVID-19 – трижды в год, а гриппа – ежегодно, построим данные рис. 11 в параметрической форме (рис. 12).

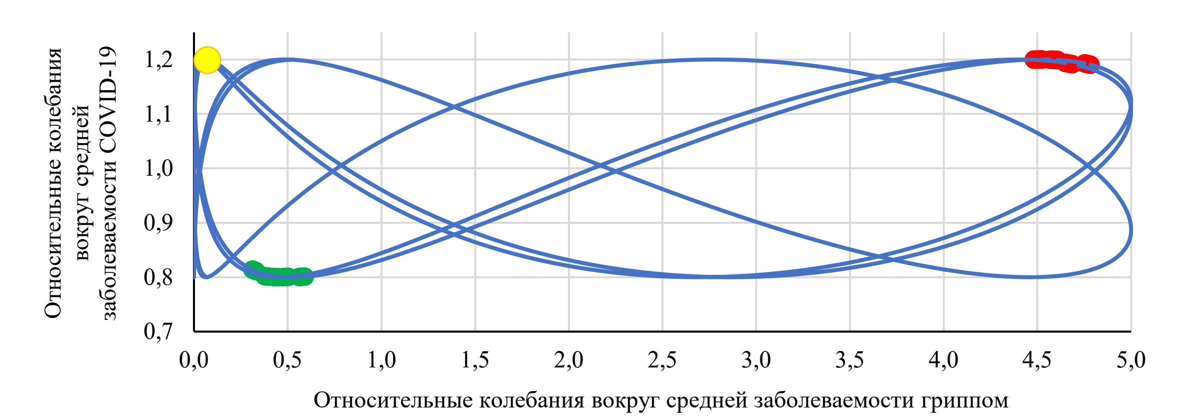


Рис. 12. Сопоставление динамики заболеваемости COVID-19 и гриппом в параметрической форме

Совместное отображение заболеваемости гриппом[2] и COVID-19[3] в форме рис. 12 позволяет выявить наиболее неблагоприятные моменты, когда действия двух вирусов накладываются. В эти периоды следует быть особо осторожным и соблюдать все предписания санэпиднадзора [13–15]. В настоящее время мы находимся в ситуации, отображенной желтой точкой на графике, а от самого неприятного в эпидемическом смысле момента (красная область) нас отделяет 580 дней.

Результаты исследования. В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Для согласования имеющейся модели с новыми данными в нее внесены существенные коррективы.
2. Прежние оценки пагубности COVID-19 оказались избыточно пессимистичными.
3. Для повышения информативности анализа и надежности прогнозирования эпидемии привлечены новые методы: Фурье-анализ и техника авторегрессии.
4. Даже совместное использование этих методов позволяет осуществлять лишь краткосрочный прогноз.
5. Сопоставлены особенности течения двух заболеваний сезонного характера (COVID-19 и гриппа).
6. Спрогнозированы моменты, когда совместное действие этих заболеваний на человека окажется особенно пагубным.

[2] Virus Detections by Subtype Reported to FLUNET. Influenza Laboratory Surveillance Information. URL: https://goo.su/z4uULuF (дата обращения: 25.05.2024).
[3] Covid-19 Coronavirus Pandemic. URL: https://www.worldometers.info/coronavirus/ (дата обращения: 25.05.2024).

Обсуждение и заключение. Авторами обоснована необходимость надёжно прогнозировать совпадение пиков заболеваемости гриппом и COVID-19. Показано, что наглядность совпадения достигается путём представления динамики обоих заболеваний в параметрическом виде. Установлено, что вследствие кратности периода обеих эпидемий максимальная и минимальная опасность их наложения также периодична. Числовые показатели цикличности эпидемий были выявлены по экспериментальным данным путём непосредственной аппроксимации, Фурье-разложения и с использованием авторегрессионного алгоритма. Компьютерный эксперимент показал, что даже совместное использование этих методов позволяет осуществлять лишь краткосрочный прогноз эпидемической обстановки. Авторами предсказаны моменты, когда пики заболеваемости гриппом и COVID-19 совпадут.

Список литературы / References

1. Mollarasouli F, Zare-Shehneh N, Ghaedi M. A Review on Corona Virus Disease 2019 (COVID-19): Current Progress, Clinical Features and Bioanalytical Diagnostic Methods. *Microchimica Acta.* 2022;189:103. https://doi.org/10.1007/s00604-022-05167-y

2. Азимова Н.Н., Бедоидзе М.В., Холодова С.Н., Мокина Т.А., Заирова Д.Х., Ермаков А.С. Статистическая оценка биогенного риска для человеческой популяции со стороны новых вирусных инфекций на примере COVID-19. *Безопасность техногенных и природных систем.* 2023;1:4–15: https://doi.org/10.23947/2541-9129-2023-1-4-15

Azimova NN, Bedoidze MV, Kholodova SN, Mokina TA, Zairova DKh, Ermakov AS. Statistical Assessment of Biogenic Risk for the Human Population from New Viral Infections Based on COVID-19. *Safety of Technogenic and Natural Systems.* 2023;(1):4–15. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2023-1-4-15

3. Siettos CI, Russo L. Mathematical Modeling of Infectious Disease Dynamics. *Virulence.* 2013;4(4):295–306. https://doi.org/10.4161%2Fviru.24041

4. Steinberg DM, Balicer RD, Benjamini Y, De-Leon H, Gazit D, Rossman H, et al. The Role of Models in the Covid-19 Pandemic. *Israel Journal of Health Policy Research.* 2022;11:36. https://doi.org/10.1186/s13584-022-00546-5

5. Виноградов А.Ю. *Численные методы решения жестких и нежестких краевых задач.* Москва: National Research; 2017. 112 с. URL: https://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Vinogradov2017ru.pdf (дата обращения: 10.03.2024).

Vinogradov AYu. *Numerical Methods for Solving Rigid and Non-Rigid Boundary Value Problems.* Moscow: National Research; 2017. 112 p. URL: https://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Vinogradov2017ru.pdf (accessed: 10.03.2024). (In Russ.)

6. Šušteršic T, Blagojevic A, Cvetkovic D, Cvetkovic A, Lorencin I, Šegota B, et al. Epidemiological Predictive Modeling of COVID-19 Infection: Development, Testing, and Implementation on the Population of the Benelux Union. Frontiers in Public Health. 2021;9:727274. https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.727274

7. Roosa K, Yiseul Lee, Riuyan Luo, Kirpich A, Rothenberg R, Hyman JM, et al. Short-term Forecasts of the COVID-19 Epidemic in Guangdong and Zhejiang, China: February 13–23, 2020. *Journal of Clinical Medicine.* 2020;9(2):596. https://doi.org/10.3390/jcm9020596

8. Макаровских Т.А., Аботалеб М.С.А. Автоматический подбор параметров модели ARIMA для прогноза количества случаев заражения и смерти от Covid-19. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика.* 2021;10(2):20–37. https://doi.org/10.14529/cmse210202

Makarovskikh TA, Abotaleb MSA. Automatic Selection of ARIMA Model Parameters to Forecast COVID-19 Infection and Death Cases. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Computational Mathematics and Software Engineering.* 2021;10(2):20–37. https://doi.org/10.14529/cmse210202 (In Russ.)

9. Ioannidis JPA, Cripps S, Tanner MA. Forecasting for COVID-19 Has Failed, *International Journal of Forecasting.* 2022;38(2):423–438. https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2020.08.004

10. Sonal Jain, Ho-Hon Leung, Firuz Kamalov. A Computational Numerical Performance for Solving the Mathematical Epidemiological Model Based on Influenza Disease, *Scientific African*. 2022;17:e01383. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01383

11. Bucyibaruta G, Dean CB, Mahmoud Torabi. A Discrete-Time Susceptible-Infectious-Recovered-Susceptible Model for the Analysis of Influenza Data. *Infectious Disease Modelling.* 2023;8(2):471–483. https://doi.org/10.1016/j.idm.2023.04.008

12. Xinzhu Guan, Fan Yang, Yongli Cai, Weiming Wang. Global Stability of an Influenza A Model with Vaccination. *Applied Mathematics Letters.* 2022;134:108322. https://doi.org/10.1016/j.aml.2022.108322

13. Fong Min W, Gao Huizhi, Wong Jessica Y, Xiao Jingyi, Shiu Eunice YC, Ryu Sukhyun, et al. Nonpharmaceutical Measures for Pandemic Influenza in Non healthcare Settings-Social Distancing Measures. *Emerging Infectious Diseases.* 2020;26(5):976–984. https://doi.org/10.3201/eid2605.190995

14. Lazarus JV, Wyka K, White TM, Picchio CA, Gostin LO, Larson HJ, et al. A Survey of COVID-19 Vaccine Acceptance across 23 Countries in 2022. *Nature Medicine* 2023;29:366–375. https://doi.org/10.1038/s41591-022-02185-4

15. Lin J, Li C, He W, Trends in Influenza Vaccine Uptake before and during the COVID-19 Pandemic in the USA. *Public Health.* 2023;225:291–298. https://doi.org/10.1016/j.puhe.2023.10.028

Об авторах:

Наталья Николаевна Азимова, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной математики Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, arkomaazimov@mail.ru

Джахангул Хайруллаевна Заирова, магистрант кафедры медиатехнологий Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), SPIN-код: 8187-5637, ORCID, gulyazair@gmail.com

Александр Сергеевич Ермаков, магистрант кафедры автоматизации производственных процессов Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), SPIN-код: 4966-2084, ORCID, ermakov_sahsa11@mail.ru

Евгений Николаевич Ладоша, кандидат технических наук, доцент кафедры медиатехнологий Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1).

Заявленный вклад авторов:

Н.Н. Азимова: разработка и реализация динамической модели эпидемии, разработка методов статистического анализа.

Д.Х. Заирова: подбор и верификация новых статистических данных, сопоставление результатов экспериментов по прогнозированию динамики эпидемии с реальными данными.

А.С. Ермаков: сравнительная характеристика эпидемий COVID-19 и гриппа, выполнение экспериментов по прогнозированию динамики эпидемии, подготовка текста статьи.

Е.Н. Ладоша: формулировка содержательных выводов и рекомендаций, доработка текста.

Конфликт интересов: **авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Natalya N. Azimova, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Applied Mathematics Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), ORCID, arkomaazimov@mail.ru

Dzhakhangul Kh. Zairova, Master's Degree Student of the Media Technologies Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), SPIN-code: 8187-5637, ORCID, gulyazair@gmail.com

Aleksandr S. Ermakov, Master's Degree Student of the Automation of Production Processes Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), SPIN-code: 4966-2084, ORCID, ermakov_sahsa11@mail.ru

Evgenii N. Ladosha, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Media Technologies Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation).

Claimed Contributorship:

NN Azimova: development and implementation of a dynamic epidemic model, development of statistical analysis methods.

DKh Zairova: selection and verification of new statistical data, comparison of the results of experiments on forecasting the epidemic dynamics with the real data.

AS Ermakov: comparative characteristics of the COVID-19 and influenza epidemics, performing experiments to predict the dynamics of the epidemic, preparing the text of the article.

EN Ladosha: formulation of meaningful conclusions and recommendations, revision of the text.

Conflict of Interest Statement: **the authors do not have any conflict of interest.**

All authors have read and approved the final manuscript.

Поступила в редакцию / Received 31.05.2024
Поступила после рецензирования / Revised 21.06.2024
Принята к публикации / Accepted 27.06.2024